

**С.В. ЛУЦКИЙ**, канд. техн. наук, доц., ХНАДУ, Харків.

## **СИСТЕМНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К КОНЦЕПЦИИ САМООРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Розглянуто аспекти концепції самоорганізації технічних систем з погляду системно-інформаційного підходу.

Теорія системно-інформаційного підходу (Сі-підходу) розкриває закономірності властивостей процесу самоорганізації з позиції нового розуміння визначення й формалізації поняття інформації. Показано, що концепція самоорганізації випливає з принципу про внутрішні джерела розвитку матерії, які дозволяють показати домінуючу роль інформаційних зв'язків параметрів технічної системи, що знаходяться у відповідності до зовнішніх факторів впливу, а Сі-підхід пояснює інформаційні особливості процесів самоорганізації технічних систем і є інструментом при їхньому створенні.

In article aspects of the concept of self-organising of technical systems from the point of view of the system-information approach are considered.

The theory of the system-information approach (SI-approach) opens laws of properties of process of self-organising from a position of new understanding of definition and formalisation of concept the information. In article it is shown that the self-organising concept follows from a principle about internal sources of development of a matter which allow to show a dominating role of information communications of parametres of the technical system which are according to external factors of influence, and the SI-approach explains information features of processes of self-organising of technical systems and is the tool at their creation.

Рассмотрены аспекты концепции самоорганизации технических систем с точки зрения системно-информационного подхода.

Теория системно-информационного подхода (СИ-подхода) раскрывает закономерности свойств процесса самоорганизации с позиции нового понимания определения и формализации понятия информация. В статье показано, что концепция самоорганизации вытекает из принципа о внутренних источниках развития материи, которые позволяют показать доминирующую роль информационных связей параметров технической системы, находящихся в соответствии с внешними факторами воздействия, а СИ-подход объясняет информационные особенности процессов самоорганизации технических систем и является инструментом при их создании.

**Введение.** Проблема самоорганизации материальных систем в XXI веке становится одной из центральных проблем науки. Существенный вклад в решение этой проблемы вносят системный и информационный подходы.

В 1975 году на Западе возникла новая научная дисциплина - синергетика, установившая универсальность закономерностей явлений самоорганизации, которые не ограничиваются областью неживой природы, а распространяются на все материальные системы.

Основоположениями синергетики считаются Г. Хакен и И. Пригожин. Работы И. Пригожина по теории необратимых процессов в открытых неравновесных системах были удостоены Нобелевской премии по химии за 1977 год. В этих работах в отличие от кибернетики акцент делается не на процессы управления и обмена информацией, не на функционирование

системы, а на ее структуру, на принципы построения организации, на условиях ее возникновения, развития и самоусложнения.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Понятие самоорганизации технических систем исторически тесно связано с введением в физическую науку понятий времени и эволюции.

В XVII и в первой половине XIX веков в науке доминировала механистическая парадигма, постольку в ней все процессы пытались объяснить путем сведения их к законам механического движения материальных частиц. Предполагалось, что эти частицы могут двигаться, не взаимодействуя друг с другом, а самое главное - их положение и скорость движения будут точно и однозначно определенными в любой момент в прошлом, настоящем и будущем, если заданы их начальное положение и скорость. Следовательно, в таком механическом описании время не играет никакой роли и поэтому его знак можно менять на обратный. Вследствие этого подобные процессы стали называть обратимыми. Однако в большинстве реальных случаев приходится учитывать изменение систем во времени, т. е. иметь дело с необратимыми процессами.

Впервые такие процессы стали изучаться в термодинамике, которая начала исследовать принципиально отличные от механических процессов тепловые явления. Тепло передается от нагретого тела к холодному, а не наоборот. С течением времени оно равномерно распределяется в теле или окружающем пространстве. Все эти простейшие явления нельзя было описывать без учета фактора времени. На такой феноменологической основе были сформулированы исходные начала или законы классической термодинамики, среди которых важнейшую роль играет закон энтропии.

Понятие энтропии характеризует ту часть полной энергии системы, которая не может быть использована для выполнения работы. Поэтому в отличие от свободной энергии она представляет собой деградированную, отработанную энергию. Если обозначить свободную энергию через  $F$ , энтропию -  $S$ , то полная энергия системы  $E$  будет равна  $E = F + ST$ , где  $T$  - абсолютная температура по Кельвину.

Согласно второму закону термодинамики энтропия в замкнутой системе постоянно возрастает и в конечном счете стремится к своему максимальному значению. Следовательно, по степени возрастания энтропии можно судить об эволюции замкнутой системы, а тем самым - и о времени ее изменения. Так впервые в физическую науку были введены понятия времени и эволюции, связанные с изменением систем. Но понятие эволюции в классической термодинамике рассматривается совсем иначе, чем в общепринятом смысле. Это стало очевидным после того, когда немецкий ученый Л. Больцман (1844 - 1906) стал интерпретировать энтропию как меру беспорядка в системе. Таким образом, согласно второму закону термодинамики замкнутая система, предоставленная самой себе, стремится к достижению наиболее вероятного состояния, заключающегося в ее максимальной дезорганизации. Поэтому чисто формально дезорганизацию можно рассматривать как

самоорганизацию с отрицательным знаком или самодезорганизацию. Тем не менее такой взгляд ничего общего не имеет с содержательной интерпретацией самоорганизации как процесса становления качественно нового, более высокого уровня развития системы. Для этого необходимо отказаться от таких абстракций, как изолированная система и равновесное состояние.

Наиболее фундаментальным из них является понятие открытой системы, которая способна обмениваться с окружающей средой веществом, энергией или информацией. Поскольку между веществом и энергией существует взаимосвязь, можно сказать, что система в ходе своей эволюции повышает энтропию, которая, однако, не накапливается в ней, а удаляется и рассеивается в окружающей среде. Вместо нее из среды поступает свежая энергия и именно вследствие такого непрерывного обмена энтропия системы может не возрастать, а оставаться неизменной или даже уменьшаться. Отсюда становится ясным, что открытая система не может быть равновесной, потому ее функционирование требует непрерывного поступления энергии и вещества из внешней среды, вследствие чего неравновесие в системе усиливается. В конечном итоге прежняя взаимосвязь между элементами системы, т. е. ее прежняя структура, разрушается. Между элементами системы возникают новые когерентные (или согласованные) отношения, которые приводят к кооперативным процессам и к коллективному поведению ее элементов. Так схематически могут быть описаны процессы самоорганизации в открытых системах, которые связаны с диссипацией (или рассеянием) энтропии в окружающую среду. И.Р. Пригожиным и его сотрудниками были сформулированы важнейшие условия процессов самоорганизации в диссипативных структурах [1].

С точки зрения парадигмы самоорганизации становится ясным, что условием развития динамических систем является взаимодействие системы и окружающей ее среды. Только в результате такого взаимодействия происходит обмен веществом, энергией и информацией между системой и ее окружением. Благодаря этому возникает и поддерживается неравновесность, а это в конечном итоге приводит к спонтанному возникновению новых структур. Таким образом, самоорганизация выступает как источник эволюции систем, она служит началом процесса возникновения качественно новых более сложных структур развития систем.

В последние десятилетия предпринималось немало попыток описания эволюции в терминах современных научных теорий. Наиболее интересным из них представляется кибернетический подход, развитый английским биологом-кибернетиком Россом Эшби, который связывает эволюцию с достижением устойчивого состояния, при котором система постепенно адаптируется к своему окружению, пока не достигнет равновесия. Математическая теория катастроф, разработанная французским математиком Рене Томом (1927 г.) рассматривает переход равновесного устойчивого состояния системы (например, корабля, самолета, сооружения) к

неустойчивому и в конце концов – к катастрофе. Но эволюционные процессы имеют совершенно противоположный характер – они приводят к возникновению более устойчивых динамических систем [2].

**Изложение основного материала.** Харьковскими учеными автомобильно-дорожного университета и политехнического университета разработана теория системно-информационного подхода (СИ-подхода) к развитию техносферы, которая с позиции нового понимания определения и формализации понятия информация исследует закономерности свойств самоорганизации, которые являются источником и основой эволюции технических систем.

Согласно этой теории источником содержательной информации значения физической величины в стохастической системе служит математическое ожидание дискретной случайной величины  $I = M = \sum_i x_i P_i$ , а содержательное количество информации и определяется как

$$I_{\text{кол}} = \log_2 \frac{M}{\sigma} = \log_2 \frac{\sum x_i p_i}{\sqrt{D}}, \text{ где } D - \text{ дисперсия, } \sigma - \text{ среднее квадратичное}$$

отклонение случайной физической величины. Содержательное количество информации физической величины в детерминированной системе имеет вид

$$I = \log_2 \frac{X}{\Delta x}, \text{ где } X - \text{ параметр системы, } \Delta x - \text{ допустимое отклонение параметра.}$$

Содержательное комплексное информационное описание параметра по СИ-подходу имеет вид  $I_{\text{сип}} = \sum_{i=1}^k \left( \ln X_i - \frac{J_{\text{sh}}}{p_i} \right)$ , где  $J_{\text{sh}}$  – количество информации по Шеннону [5].

Основы методологии СИ-подхода дополняют классическую теорию информации связи сформулированными четырьмя законами.

1. Закон тождественного отображения состояния свойств объектов при их взаимодействии

$$I(e_i) = I(e_j).$$

2. Закон информационного согласования свойств объектов при их взаимодействии

$$\log_2 \frac{M_A}{\sigma_A} = \log_2 \frac{M_B}{\sigma_B}.$$

3. Закон информационной аддитивности свойств объектов при их взаимодействии

$$I = \sum_{i=1}^t I_i, \quad M = \sigma \cdot n^{\sum_{i=1}^t I_i},$$

где  $n$  – основа логарифма.

4. Закон информационного пространства свойств – информационно взаимосвязанные и согласованные без потери или излишка информации процессы и системы когерентны и взаимно однозначны численными значениями информационных кодов.

Развитие СИ-подхода к процессам и системам техносферы как научного направления включает в себя ряд этапов:

- разработка концепции определения понятия «содержательная информация»;
- разработка методологии численного определения количества, качества и ценности «содержательной информации»;
- разработка положений информационной алгебры;
- формализация законов «содержательной информации»;
- разработка методологии системно-информационного моделирования (СИ-моделирования);
- разработка системно-информационных моделей (СИ-моделей) процессов и систем;
- разработка методов системно-информационного анализа и синтеза процессов и систем;
- разработка критических технологий на базе СИ-моделей.

Компьютерно-интегрированные технологии машиностроения, созданные на базе СИ-моделей, включают в себя основные преимущества энерго-вещественно-информационной парадигмы, такие как:

- информационные характеристики системы являются надсистемными по отношению к распределению вещества и энергии и информационно связывают между собой различные свойства (физические, химические, экономические, социальные и т.д.) системы;
- логарифмическая форма представления СИ-моделей параметров процессов и систем в информационной среде позволяет резко уменьшить объем используемой памяти компьютера и его быстродействия при решении технических задач;
- параметры в информационной среде техносферы имеют структуру СИ-моделей и взаимосвязаны между собой информационными связями (см. рисунок);
- принцип информационной связи является фундаментальным свойством информационной среды техносферы, он определяет взаимосвязь между параметрами различных свойств на основе энерго-вещественно-информационной парадигмы;

- принцип информационной связи параметров позволяет создавать, эксплуатировать и ремонтировать машины информационного класса, у которых изменение одного параметра влечет информационное изменение других параметров;

- компьютерные СИ–модели параметров процессов и систем техносферы отражают реальные информационные процессы окружающего мира, они развиваются по одним и тем же информационным законам.

Терминология, выработанная в этих областях исследования, приобрела общенаучный характер в описании и объяснении процессов самоорганизации. Самоорганизация по своему содержанию предполагает свойство систем самостоятельно активизировать процессы своего функционирования и развития на основе внутренне присущей системам способности упорядочить свои составляющие подсистемы и регулировать энергетические и информационные потоки, которыми она обменивается с внешней средой. По форме явление самоорганизации включает в себя целый спектр процессов, в том числе самоупорядочение, самообеспечение, самовоспроизводство, и связанные с ним процессы самообучения, самоконструирования, самоизготовления, самосборки, самовосстановления, самоограничения, самовоспроизведения, самосохранения. Под организацией понимается совокупность процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого, обеспечивающих интеграцию их в систему [3].

Понятийная основа самоорганизации [4] характеризуется такими определениями.

Самоорганизация – свойство системы самостоятельно (т.е. без направляющего воздействия извне) реализовывать процессы, обеспечивающие ее функционирование и развитие.

Самоупорядочение – свойство системы за счет своих внутренних факторов обеспечивать упорядоченность в пространстве и/или во времени отдельных элементов (частей) системы или протекающих в ней процессов.

Самообеспечение – свойство системы удовлетворять свои потребности в энергии (квазиэнергии) за счет привлекаемых в систему энергетических потоков из внешней среды (материалов, трудовых ресурсов, денежных средств), обусловленных деятельностью системы.

Самовоспроизводство – свойство системы непрерывно воспроизводить сущностные начала (материальное, информационное и синергетическое), формирующие данную систему, противодействуя процессу энтропийного саморазрушения системы.

Техническая система проявляет себя по отношению к внешней среде посредством служебных параметров. Служебные параметры – это вершина пирамиды иерархично расположенных и информационно связанных внутренних параметров системы.

Самоорганизация технической системы проявляется в виде структуры информационно связанных параметров (рисунок), и эта структура зависит от характера внешнего воздействия, при котором проявляется служебный параметр. Множество других внутренних параметров технической системы информационно не связаны.

Таким образом, техническая система самоорганизуется при функционировании, взаимодействуя с внешней средой.

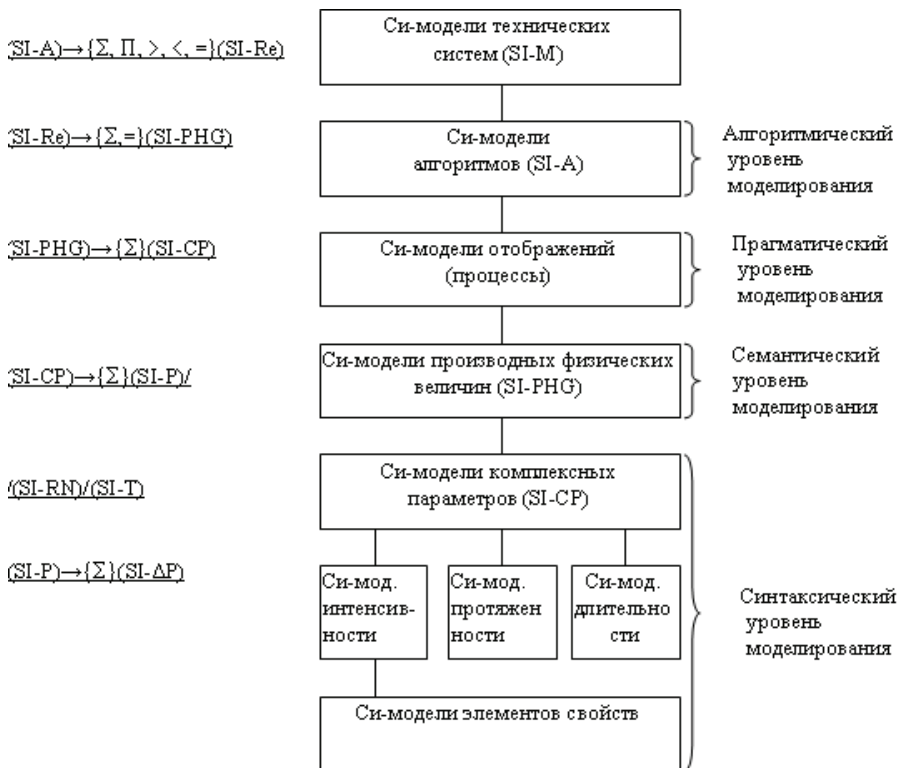


Рис. 1. Структура СИ-моделей параметров технических систем

Для решения задачи создания самоорганизующихся технических систем необходимо провести ряд научно-исследовательских работ:

1. Разработка элементов машин с информационно связанными параметрами: поверхности деталей, группа поверхностей, механизмы, сборочные узлы, машины и т.д.

2. Разработка и оптимизация конструкции машин с информационно связанными параметрами на базе информационно-функционального стоимостного анализа.

3. Разработка и оптимизация производственно-технологических структур на базе СИ-моделей, прогнозирование их эффективности на ранних этапах жизненного цикла изделий на базе удельных информационных коэффициентов: технологического времени, затрат энергии, затрат денежных средств и т.д.

4. Управление изготовлением и контроль качества машин на базе детерминированной и стохастической информации СИ-моделей изделий (анализируется изменение закона распределения стохастической информации параметров).

5. Диагностика и прогнозирование состояния информационно связанных параметров машины на базе анализа детерминированной и стохастической информации параметров в межрегламентный период эксплуатации.

6. Оптимизация затрат на ремонт информационно связанных параметров с наиболее существенным влиянием на работоспособность машины в межрегламентный период эксплуатации (анализируется изменение закона распределения вероятности стохастической информации параметров).

**Выводы.** Таким образом, концепция самоорганизации вытекает из принципа о внутренних источниках развития материи, которые позволяют показать доминирующую роль информационных связей, находящихся в соответствии с внешними закономерностями, а СИ-подход объясняет особенности самоорганизации технических систем и является инструментом при их создании.

**Список литературы:** 1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М., 1979. 2. Электронный источник kse-a852e71b.doc. 3. Социологический энциклопедический словарь / под ред. Г.В. Осипова. – М.: Издательская группа ИНФРА-М-НОРМА, 1998. – 468 с. 4. Мельник Л.Г. Научные основы самоорганизации экономических систем / Л.Г.Мельник. – Механізм регулювання економіки, 2010. № 3, Т. 1. 5. Сайт lutskyu-s-v.com.ua

*Поступила в редколлегию 06.07.11*